

ESTIMATIVA DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE BOFETE - SP

Juliane Rodrigues dos Santos ^{1,3}, Rodrigo Lilla Manzione ^{2,3}

¹ DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. juliane.rsantos@gmail.com

² UNESP/FCE – Faculdade de Ciências e Engenharia. Tupã/SP. manzione@tupa.unesp.br

³ UNESP/FEIS – Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira/SP. Programa de Pós graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) – mestrado profissional.

Palavras-Chave: água subterrânea; recarga; gestão integrada

INTRODUÇÃO

Os mecanismos de recarga e descarga do aquífero são componentes do ciclo hidrológico importantes para o manejo do recurso hídrico subterrâneo. As águas subterrâneas têm apontado como uma alternativa interessante para suprir o abastecimento público, mas as informações a respeito desse manancial e seu funcionamento a nível local ainda é incipiente. Contudo, seu sistema complexo pode ser entendido através de modelos e estimativas dos dados. A pesquisa e conhecimento da recarga demonstra também a interação entre as águas subterrâneas e superficiais. Esse estudo é fundamental, pois as atividades antrópicas podem levar à contaminação das áreas vulneráveis, além do aumento da exploração de água de forma insustentável. Ainda assim os órgãos gestores não utilizam e muitas vezes não possuem essas informações. Essa falta de dados, e a desarticulação desses órgãos constituem-se num problema para a gestão de águas subterrâneas. As estimativas e modelagem da recarga do aquífero proporcionam informações para os tomadores de decisão, sendo assim uma ferramenta de melhoria para a gestão de recursos hídricos. Entretanto estimar a taxa de recarga é um desafio, pois depende de variáveis específicas de tempo e espaço do sistema aquífero a ser estudado, sua localização, informações como clima, pluviosidade, geologia, entre outros (Lucas, 2012).

O objetivo desse trabalho foi estimar a recarga das águas subterrâneas em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) na região de Bofete – SP a partir de dados de monitoramento disponibilizados em fontes de dados oficiais. Existem diferentes métodos de cálculo da estimativa de recarga da água subterrânea. O modelo selecionado no estudo o *Water Table Fluctuation* (WTF) é o modelo da oscilação da superfície livre do aquífero, ou seja, é atribuída que a recarga do aquífero tem relação com a elevação do nível freático. O cálculo é realizado utilizando parâmetros de rendimento específico do local e de tempo (Manzione, 2015). Assim, o estudo propõe a discussão de como dados de recarga das águas subterrâneas podem contribuir para uma gestão de recursos hídricos mais efetiva a partir dos esforços já realizados para coleta e distribuição de dados.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Um dos maiores aquíferos conhecidos no mundo, o SAG constitui-se numa reserva estratégica de água subterrânea de qualidade, sendo altamente explorado no Estado de São Paulo. Esse sistema abrange quatro países, sendo eles: Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. A maior extensão do SAG, 71% de sua área, está inserida no território do Brasil (OEA, 2009). Na área de afloramento do SAG no Estado de São Paulo estão aproximadamente 105 municípios, pertencentes de nove Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (IPT, 2011).

O município de Bofete, a área do presente estudo, está localizado na porção central do Estado, tem seus limites totalmente inseridos na área de afloramento desse sistema aquífero, e possui 653,541 Km² de área (IBGE, 2016). De acordo com a classificação climática de Koeppen o clima do município é denominado como Cwa, ou seja, clima mesotérmico (subtropical e temperado), verões quentes e chuvosos, com temperaturas acima de 22°C. A temperatura média no ano é de 21,5°C, a precipitação média anual é de

1490,6 mm, e a altitude do município é de 570,0 m (CEPAGRI, 2018). Nesse município é predominante a agropecuária como atividade econômica, seguido da extração de bens minerais (IPT, 2008). Os biomas Cerrado e Mata Atlântica são predominantes em Bofete (Prefeitura Municipal de Bofete, 2016). A captação de água realizada em Bofete para abastecimento público depende da região, no bairro mais central o manancial utilizado é o Córrego do Tanque. Na área rural não possui rede pública de abastecimento, e utiliza alternativas individuais, principalmente poços rasos (ENGEORPS, 2011). A água captada e tratada para abastecimento da população atendida pela rede pública em 2010 foi de 13,72 l/s, estima-se que em 2019 seja de 15, 27 l/s, e em 2040 a vazão de 16,92 l/s (ENGEORPS, 2011).

METODOLOGIA

A metodologia WTF é utilizada para zona saturada do aquífero livre, e tem como fundamento que a variação de nível freático, num determinado período de tempo, corresponde à variação do armazenamento, conforme a equação 1 a seguir:

$$\Delta S^{gw} = R = S_y \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \text{ (Equação 1)}$$

onde: ΔS^{gw} é o armazenamento de água, R é a recarga, S_y é o rendimento específico do aquífero, ΔH a variação do armazenamento de água, e Δt o intervalo de tempo (Manziona, 2015).

Para calcular a recarga através do método WTF foi usada a planilha de cálculo *Estimation de La Pluie Efficace et de La Recharge* (ESPERE) que realiza a estimativa de chuva e recarga efetivas, inserindo os valores de precipitação e nível freático local dos anos de 2012 a 2016. O valor do rendimento específico do aquífero (*Specific Yield - Sy*) utilizado foi de 0,20.

Os valores de monitoramento do nível freático do município de Bofete foram obtidos do poço n.º 3500027885, através do banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS/CPRM). Os dados de pluviometria foram obtidos do monitoramento hidrológico do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), mais especificamente o posto pluviométrico E5-064 (Fazenda Santa Terezinha). Para refinar o método foi utilizada a evapotranspiração do município, obtidas pelo Centro Integrado de Informações Meteorológicas (CIIAGRO), contudo não foram disponibilizados os dados do período estudado, assim foi adotado o valor médio da série disponível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O poço de monitoramento utilizado possui profundidade de 60,0 m, está na localidade denominada Sítio Dona Maria, e identificado sob o n.º 3500027885 (SIAGAS / CPRM). De acordo com os dados observados no período entre 2012 a 2016 o nível médio diário da água subterrânea foi de -17,94 m, o valor máximo da série estudada foi de -16,91 m em março de 2013, e o mínimo de -18,72 m em outubro de 2015, conforme ilustra Figura 1.

Os dados de precipitação medidos foram obtidos do posto pluviométrico denominado E5-064 (Fazenda Santa Terezinha) (DAEE) que possui medições desde 1971. Contudo para o estudo foi delimitado o período de 2012 a 2016. Neste período selecionado o ano com maior precipitação acumulada foi em 2015 com 1509,60 mm, e a menor foi em 2014 com 796,80 mm de acordo com os dados da Tabela 1. A média acumulada anual deste posto, contando com a série desde 1971, é de 1311,60 mm, sendo assim o valor atípico medido no ano de 2014 representa aproximadamente 60% desta média. Comparando com outro posto pluviométrico da região o E5-016 (Bofete), com medição de dados desde 1958, sua média acumulada anual é de 1412,70 mm, em 2014 o valor acumulado foi de 954,00 mm, representando assim 67% dessa média. A comparação entre os postos pluviométricos demonstra que não houve erro de medição, e provavelmente houveram alterações climáticas e locais que culminaram na alteração do regime de chuvas. As alterações

sazonais e a relação entre as águas subterrâneas e superficiais pode ser melhor observada através da junção dos dados de precipitação e nível piezométrico do município no gráfico da Figura 1.

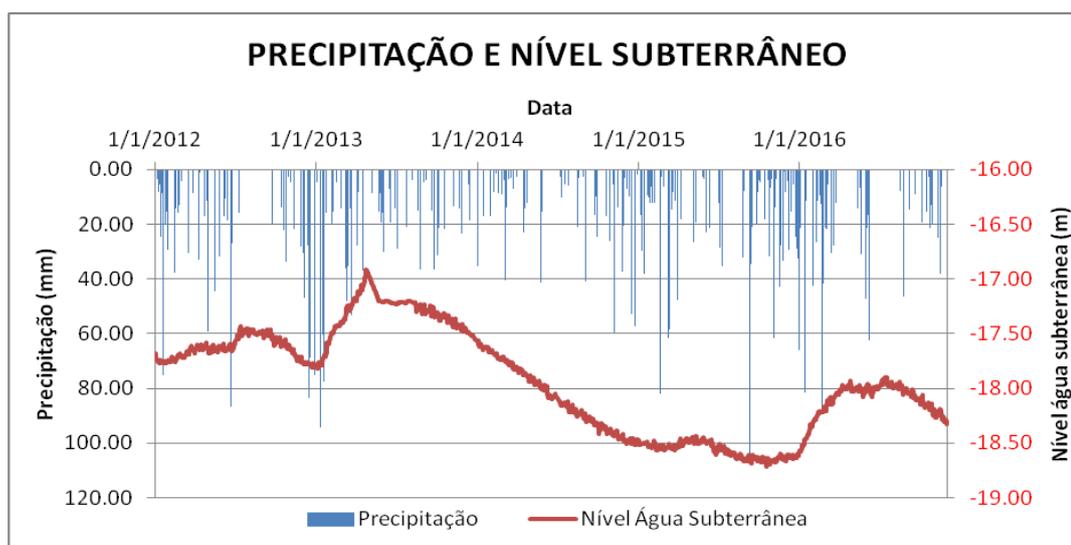


Figura 1. Gráfico das precipitações e piezometria no município de Bofete nos anos de 2012 a 2016.

A distância entre o posto de monitoramento pluviométrico e piezométrico é cerca de 7,00 m. No gráfico da Figura 1 percebe-se a relação entre as águas subterrâneas e superficiais, onde pressupõe-se que após o período de chuvas, como no período de janeiro de 2013, a curva do nível freático sobe e no período de seca a curva entra em declínio, que seria a recessão da água subterrânea, possivelmente alimentando o fluxo de base dos cursos d'água até o retorno do período chuvoso.

Utilizando o método WTF na planilha ESPERE foram obtidos os valores de recarga anual no local, para os anos de 2012 a 2016. E com a finalidade de quantificar a representatividade deste valor, foi feito o cálculo da porcentagem dessa recarga na precipitação acumulada anual demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores da precipitação acumulada, e de recarga anual no município de Bofete.

Ano	Precipitação Acumulada (mm)	Recarga (mm)	Recarga % da Precipitação
2012	1404,20	468,00	33,33
2013	1148,10	452,00	39,37
2014	796,80	382,00	47,94
2015	1509,60	452,00	29,94
2016	1118,90	506,00	45,22

Os valores obtidos referem-se a recarga total, pois o método utilizado não contempla as descargas. A média da recarga estimada nesta área foi de 452, 00 mm. De acordo com o estudo do IPT (2011) a média de recarga da área de afloramento do SAG é de 200 mm/ano. Contudo, segundo a OEA (2009), os excedentes hídricos na área de afloramento do aquífero variam de 350 a 450 mm/ano na região norte, e 650 a 750 mm/ano na região sul, esse valor gera uma recarga profunda de 10 a 20 mm/ano, valores que condizem ao obtido neste estudo.

Foi observado que uma alta parcela das precipitações corresponde a recarga, e provavelmente não foi direcionada ao escoamento superficial, que é a principal fonte de captação para abastecimento público.

Como o município tem forte atividade agropecuária, este uso do solo pode influenciar na recarga, uma vez que a irrigação pode contribuir para a recarga, e por outro lado a pecuária para compactação do solo.

Em estudo na bacia do Ribeirão da Onça, área de afloramento do SAG, Lucas et al. (2012) observaram valores de 7% a 20% das precipitações para a recarga, e também que em áreas de pasto e cana-de-açúcar a recarga foi maior do que nas áreas de citros e eucalipto.

CONCLUSÕES

As estimativas de recarga calculadas para o município de Bofete, no período estudado, apresentaram valores altos em relação a porcentagem das precipitações, aproximadamente entre 30% e 48%. Essa informação é de interesse e valor para os tomadores de decisão em recursos hídricos, visto que a cidade depende do manancial superficial para abastecimento público, e faz uso da água para exercer suas principais atividades econômicas. Esses dados, aliados com condições climáticas, são necessários para a adequada gestão e planejamento do uso das águas de modo sustentável, evitando assim possíveis crises hídricas e conflitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). Universidade Estadual de Campinas. Outras Informações. Clima dos Municípios Paulistas. Campinas. http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_078.html
- Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO). CIIAGRO on line. Monitoramento Agrometeorológico à partir de 2004. <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>
- Corpo de Engenheiros Consultores S.A (ENGECORPS). Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico Município: Bofete. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, 2011.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Serviços. Hidrologia. Banco de Dados Hidrológicos. <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Brasil em Síntese. Cidades. Bofete. Panorama. 2015, 2016 e 2017. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/bofete/panorama>
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Aquífero Guarani. Subsídios ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2011. (Cadernos do Projeto Ambiental estratégico de Aquíferos. Número 5).
- Lucas, M. C. Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- Lucas, M. C.; Guanabara, R. C.; Wendland, E. Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. Boletín Geológico y Minero, Madrid, v. 123, n. 3, p. 311-323, 2012.
- Manziona, R. L. Águas Subterrâneas - conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco editorial, 2015. 388 p.
- Organização dos Estados Americanos (OEA). Aquífero Guarani: Programa Estratégico de Ação. Relatório do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Edição bilíngue. Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai. Montevideo: OEA, 2009.
- Prefeitura Municipal de Bofete. Institucional. 2016. <http://www.bofete.sp.gov.br/index.php/institucional>
- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Apresentação. <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>